ممبرین های اسمز معکوس مقاوم در برابر جرم گرفتگی

خلاصه

ممبرین های انتخاب کننده برای جداسازی ماده حل شده ، که به‌صورت محلول یا معلق وجود دارد ، از حلال به‌کار برده می‌شوند . به‌عنوان مثال ، ممبرین های اسمز معکوس (RO) ، اولترافیلتراسیون (UF) و میکروفیلتراسیون (MF) که بر حسب افزایش اندازه‌ی منافذ طبقه‌بندی می‌شوند ، این‌گونه می‌باشند . ممبرین های RO آب را عبور می‌دهند ، اما نمک‌ها و مواد حل شونده آلی با وزن مولکولی بیش‌از ۱۰۰ را دفع نموده و برای خالص سازی آب از قبیل نمک‌زدایی از آب لب شور و آب دریا استفاده می‌شوند . به‌هرحال ، یکی از مشکلات اصلی در مورد استفاده از ممبرین ، جرم گرفتگی آن‌ها توسط مواد حل شده در آب طبیعی یا پساب‌های صنعتی یا فاضلاب‌های شهری می‌باشد . چنین موادی بر روی ممبرین‌ها رسوب کرده و در حین بهره‌برداری ، سبب کاهش نفوذ آب و نیز در برخی مواقع مقدار دفع ماده‌ی حل شده می‌شوند . بنابراین ساختن ممبرین هایی که در برابر رسوب‌گذاری مقاوم باشند مطلوب می‌باشد . این مواد رسوب‌گذار در اثر فعل و انفعال متقابل هیدروفوبیک و/یا جاذبه‌ی الکتریکی بین مواد حل شده و سطح ممبرین ، به سطح ممبرین جذب شده و باعث ایجاد رسوبات کلوئیدی می‌شوند .

این مقاله به‌طور ویژه به مبحث ممبرین های اسمز معکوس که در مقابل جرم گرفتگی مقاوم می‌باشند ، می‌پردازد . این ممبرین‌ها با هیروفوبیک بیشتر (مولکول قطبی با خاصیت انحلال بیشتر در آب – آب دوستی بیشتر) و بار الکتریکی کمتر ساخته می‌شوند یا دارای مقدار بار الکتریکی هستند که در آن مواد رسوب‌گذار دارای فعل و انفعال هیدروفوبیک (آب دوستی بیشتر) و جاذبه‌ی الکتریکی کمتر بوده یا دافعه‌ی الکتریکی در آنها زیاد است . اخیراً ممبرین های مقاوم در برابر رسوب‌گذاری با پوششی از منومرهای

هیدروفوبیک (آب دوست) از طریق واکنش پلیمری‌کردن و اتصال عرضی ، توسط شرکت کره‌ای صنایع Saehan ساخته می‌شوند . با آزمایش معلوم شد که به‌ترتیب در مورد شیر خشک (۳۰ ppm) ، یک ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی (۵۰ ppm) ، یک ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی (۵۰ ppm) و اسید هومیک (۵۰ ppm) ، ممبرین های RO مقاوم در برابر رسوب‌گذاری دارای شدت نفوذ بسیار کمتری نسبت به ممبرین معمولی اسمز معکوس می‌باشند .

ممبرین های پوشش‌دار از نظر بار سطحی (قابلیت zeta) و هیدروفوبیسیتی (زاویه‌ی اتصال) طبقه‌بندی می‌شوند . این ممبرین‌ها دارای بار منفی بسیار کمتری نسبت به ممبرین های معمولی بدون پوشش هستند ، امّا زاویه‌ی اتصال در ممبرین های پوشش‌دار تقریباً برابر با ممبرین های معمولی است . با استفاده از ترکیبات پوششی مختلف ، بار سطحی ممبرین کنترل می‌شود . ممبرین هایی که دارای بار سطحی متفاوت هستند با مواد رنگی کاتیونی مانند متیلن‌بلو رنگ می‌شوند . شدت رنگ شدن به اندازه‌ی بار منفی موجود در سطح ممبرین ، به‌طور خطی بستگی دارد . ممبرین های معمولی بدون پوشش بسیار بیشتر رنگین می‌شوند زیرا دارای بار منفی بیشتری هستند . جرم گرفتگی ممبرین با مواد فعال سطحی کاتیونی نیز به‌طور خطی به مقدار بار منفی موجود در سطح ممبرین بستگی دارد . جرم گرفتگی ممبرین توسط مواد فعال سطحی غیر یونی و اسید هومیک ، به فعل و انفعال متقابل هیدروفوبیک (آب دوستی) بین رسوب‌گذارها و ممبرین‌ها ارتباط دارد . جرم گرفتگی ممبرین با شیر خشک نشان دهنده‌ی ترکیبی از اثرات مختلف مانند اثر هیدروفوبیک (آب دوستی) ، اثر بار الکتریکی و برخی از رسوبات کلوئیدی می‌باشد .

در آزمایشی بر روی المان‌های 8040 انجام شد و در آن فاضلاب صنعتی شرکت هیوندایی موتور ، در طی مدت ۴۰ روز به‌عنوان خوراک مورد استفاده قرار گرفت ، ممبرین های

مقاوم در برابر جرم گرفتگی مقدار نفوذ بسیار بالاتری نسبت به ممبرین های معمولی نشان دادند . همچنین ممبرین های مقاوم در برابر جرم گرفتگی در مورد تصفیه پساب شرکت سامسونگ الکتریک ، در حدود پنج ماه با موفقیت به‌کار گرفته شدند .

مقدمه

ترجیح داده می‌شود که برای خالص‌سازی آب ، از فرآیندهای ممبرینی اسمز معکوس استفاده شود ، زیرا این فرآیندها دارای بهره وری انرژی بوده و نیز بازدهی بالایی در حذف مواد محلول و آلاینده‌ها از آب دارند . به‌هرحال ، مشکل اصلی این فرآیندها ، جرم گرفتگی ممبرین است که به رسوب مواد حل شده بر روی ممبرین بستگی دارد . در مدتی که فشار عملیاتی ثابت است ، جرم گرفتگی ممبرین باعث کاهش تصاعدی شدت نفوذ در ممبرین ، می‌شود . نقش آلاینده‌های آب در جرم گرفتگی ممبرین‌ها به‌گونه‌ی زیر بیان می‌شود :مواد معلق ، کلوئیدی و حل شده . مواد معلق دارای ذرات بزرگ‌تری بوده و با استفاده از فلیتر کردن و رسوب گیری به‌خوبی از آب جدا می‌شوند . بنابراین ، اصولاً مواد کلوئیدی و مواد قابل انحلال وقتی در حین بهره‌برداری بر روی سطح ممبرین رسوب می‌کنند ، باعث ایجد جرم گرفتگی در ممبرین می‌شوند . مواد رسوب‌گذار ، توسط فعل و انفعال متقابل هیدروفوبیک (آب دوستی) و / یا جاذبه الکتریکی بین مواد حل شده و سطح ممبرین ، جذب سطح ممبرین می‌شوند .

این مقاله به‌طور ویژه به مبحث ممبرین های اسمز معکوس که در مقابل جرم گرفتگی مقاوم می‌باشند ، می‌پردازد . این ممبرین‌ها با هیروفوبیک بیشتر و بار الکتریکی کمتر ساخته می‌شوند یا دارای مقدار بار الکتریکی هستند که در آن مواد رسوب‌گذار دارای فعل و انفعال هیدروفوبیک (آب دوستی) و جاذبه‌ی الکتریکی کمتر بوده یا دافعه‌ی الکتریکی در آن‌ها زیاد است . اخیراً ممبرین های مقاوم در برابر رسوب‌گذاری با پوششی از

منومرهای هیدروفوبیک (آب دوست) از طریق واکنش پلیمری‌کردن و اتصال عرضی ، توسط شرکت کره‌ای صنایع Saehan ساخته می‌شوند . ممبرین های پوشش‌دار از نظر بار سطحی (قابلیت zeta) و هیدروفوبیسیتی (زاویه‌ی اتصال) و زبری سطح با استفاده از میکروسکوپ اتمی (AFM) طبقه‌بندی می‌شوند . زبری سطح ممبرین‌ها قبل و بعد از پوشش‌دار شدن زیاد عوض نمی‌شود . ازاین‌رو ، ممبرین های پوشش‌دار در برابر جرم‌گرفتگی مقاوم نبوده و نسبت به ممبرین های بدون پوشش بیشتر دچار رسوب کلوئیدی می‌شوند ، زیرا زبری سطح ممبرین به‌طور قابل توجهی بر روی شدت و مقدار جرم گرفتگی از نوع رسوبات کلوئیدی تأثیر می‌گذارد .

به‌عبارت دیگر ، عموماً بار سطحی و هیدروفوبیسیتی ممبرین‌ها به‌جهت تأثیر بر روی جرم‌گرفتگی ممبرین گزارش می‌شوند . بار سطحی ممبرین با استفاده از منومرهای پوششی مختلف کنترل می‌شوند . در این روش بار الکتریکی منفی در ممبرین بدون پوشش (مرجع مقایسه) به‌تدریج کم می‌شود . همچنین ممبرین های نمونه با درجات مختلفی از هیدرفوبیسیتی آماده می‌گردند . این نمونه‌ها در مجاورت با آب خوراکی که به‌ترتیب دارای رنگ کاتیونی ، یک ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی ، شیر خشک ، یک ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی است ، قرار می‌گیرند . رسوباتی جهت مشابه‌سازی رسوب حاصل از آب طبیعی (هومیک اسید) ، پساب صنعتی و شهری (مواد فعال سطحی)، و فرآیند غذایی (شیر خشک) انتخاب می‌شوند .

آزمایش

ممبرین های استفاده شده در این تحقیق ، ممبرین های اسمز معکوس با شدت نفوذ زیاد بودند (رده‌ی BL ساخته شده توسط شرکت کره‌ای صنایع Saehan) و به‌طور اختصاصی با منومرهای هیدروفیلی (مولکول قطبی محلول در آب – آب دوست) ، پس از

اتصال طولی با واکنش پلیمری کردن ، پوشش داده شده بودند . دودسیل‌تری‌متیل‌آمونیوم برمید (Aldrich , Milwaukee) و متیلن بلو (Aldrich) به‌عنوان عوامل رسوب‌گذار کاتیونی استفاده شدند . تریتون X-100 (Aldrich) ، اسید هومیک (Aldrich) و شیر خشک فوری و بدون چربی (Real) به‌ترتیب به‌عنوان ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی ، ماده‌ی آلی طبیعی و پروتئین به‌کار برده شدند . ممبرین‌ها با استفاده از متیلن بلو ، از طریق فرو بردن آن‌ها در محلول رنگی (۰/۰۱ ٪) به‌مدت ۱۵ ثانیه ، رنگ شده و با آب دمین شستشو شدند . بار سطحی ممبرین (پتانسیل zeta) با استفاده از آنالایزر الکتروسینتیک

(BI-EKA,Brookhaven Instruments Corp,Holtsville,New York) اندازه‌گیری شد . هیدروفوبیسیتی ممبرین با اندازه‌گیری زاویه‌ی اتصال تعیین گردید .

(AST Products,Billerica,Massachusetts)

یک دستگاه مدرج با جریان متقاطع ، مجهز به ۶ سلول مسطح ، با استفاده از ۶ نمونه ممبرین با ورقه‌ی مسطح ، برای اندازه‌گیری شدت نفوذ اولیه‌ی آب و مقدار دفع نمک در محلول ۲۰۰۰ ppm از NaCl و در فشار ۲۲۵ psi به‌کار برده شدند . آزمایش رسوب‌گذاری در ممبرین به‌ترتیب با افزودن ۵۰ ppm دودسیل‌تری‌متیل‌آمونیوم برومید و ۵۰ ppm تریتون X-100 در pH برابر با ۶/۵ و ۵۰ ppm اسید هومیک و ۳۰ ppm شیر خشک در pH برابر با ۷ ، به آب خوراک انجام شد و سپس با جاری شدن آب خوراک از میان دستگاه آزمایش به‌مدت ۴ ساعت ، و اندازه‌گیری کاهش شدت نفوذ تحت شرایط فوق ادامه یافت .

نتایج حاصل از آزمایش و بررسی آن‌ها

جدول ۱ مقادیر اولیه‌ی شدت نفوذ و دفع نمک را برای پنج ممبرین پوشش‌دار (نمونه‌ی ۱ تا ۵)و یک ممبرین بدون پوشش (مرجع مقایسه) (نمونه‌ی ۶) ، و نیز این مقادیر را پس از قرار گرفتن در معرض ۵۰ ppm دودسیل‌تری‌متیل‌آمونیوم برومید (DTAB) نشان می‌دهد .

شدت نفوذ در ممبرین های پوشش‌دار ، بر حسب درصد ، نسبت به ممبرین بدون پوشش کاهش کمتری دارد ، که معلوم می‌گردد پوشش‌های هیدروفیلی (آب دوست) در کم کردن مقدار جذب مواد فعال سطحی کاتیونی مؤثرتر هستند . نتایج موجود در جدول ۲ با استفاده از ۳۰ ppm شیر خشک به‌عنوان یک ماده‌ی رسوب‌گذار ، حاصل شده و نشان می‌دهد که با روشی مشابه ، ممبرین های پوشش‌دار بر حسب درصد ، نسبت به ممبرین بدون پوشش دچار افت شدت نفوذ می‌شوند .

Sample	Flux (gfd)	Rejection (%)	Flux (gfd)	Rejection (%)	Flux decline(%)
	=> DI washing / 2000ppm NaCl addition		=> 50ppm Cationic Surfactant addition		
1	32.5	98.2	21.2	99.2	34.9
2	31.8	98.6	20.4	99.3	36.0
3	28.4	98.2	17.4	99.1	38.5
4	28.5	98.9	17.7	99.3	38.0
5	32.7	98.3	19.1	99.3	41.6
6	57.4	98.4	25.1	99.1	56.2

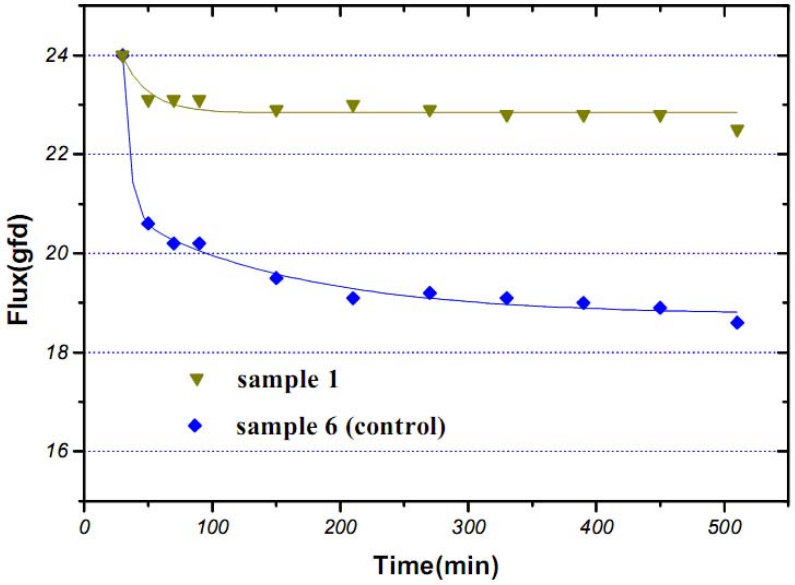
جدول ۱ :شدت نفوذ و دفع نمک قبل و پس از قرار گرفتن در معرض DTAB (ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی) در pH برابر با ۶/۵

Sample	Flux (gfd)	Rejection (%)	Flux (gfd)	Rejection (%)	Flux decline(%)
	=> DI washing / 2000ppm NaCl addition		=> 30ppm Dry Milk addition		
1	41.3	98.2	23.5	99.2	43.0
2	33.1	98.5	17.5	99.3	47.3
3	34.6	98.2	17.4	99.4	49.7
4	43.9	98.1	20.8	99.2	52.6
5	44.9	98.3	21.7	99.2	51.8
6	73.6	98.2	27.9	99.0	62.0

جدول ۲ :شدت نفوذ و دفع نمک قبل و پس از قرار گرفتن در معرض شیر خشک در pH برابر با ۷

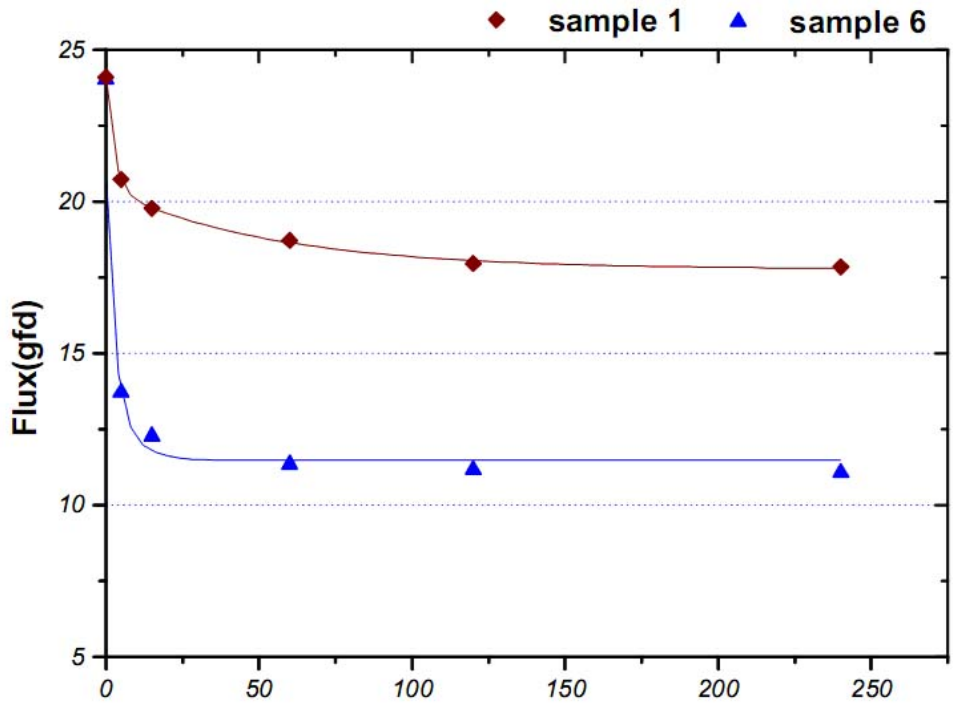
قابل توجه این‌که شدت نفوذ اولیه در ممبرین بدون پوشش (مرجع مقایسه)نسبت به ممبرین پوشش‌دار دیگر بسیار زیادتر بوده و این گمان را ایجاد می‌کند که شدت نفوذ زیاد اولیه باعث بروز رسوب بیشتر بر روی سطح ممبرین شده است زیرا با زیاد شدن نفوذ آب تصفیه شده از میان ممبرین رسوبات زیادتری ایجاد می‌شوند . این امر می‌تواند برای

مقادیر معینی صادق باشد . واحد آزمایش سلول مسطح ، برای هر سلول جداگانه با کنترل کننده‌ی فشار مجهز نشده است . بنابراین شدت نفوذ آب در هر ممبرین نمی‌تواند کنترل گردد . به‌هرحال ، وقتی ممبرین نمونه‌ی ۱ و ممبرینی که برای مقایسه انتخاب شده است در المان‌های spiral wound قرار گیرند (1812) و محلول آب‌دار شیر خشک با غلظت ۳۰ ppm در آن‌ها با فشار ۱۲۰ تا ۱۶۰ psi به‌مدت ۴ ساعت جاری شود ، چنان‌چه در شروع کار ، شدت نفوذ اولیه برای هر دو نمونه با استفاده از تنظیم شیر مربوط به محلول غلیظ شده برابر باشد ، باز هم همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است ، ممبرین پوشش‌دار (نمونه ۱) نسبت به ممبرین دیگر بر حسب درصد دچار افت شدت نفوذ کمتری می‌شود .



شکل ۱ : کاهش شدت نفوذ با مقادیر اولیه‌ی برابر برای ممبرین پوشش‌دار (۱) و بدون پوشش (۶)پس از قرار گرفتن در معرض محلول شیر خشک با غلظت ۳۰ ppm

شکل ۲ مانند شکل ۱ مقادیر اولیه‌ی برابری را برای شدت نفوذ جهت ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی ، در شروع آزمایش المان ، نشان می‌دهد . ممبرین پوشش‌دار (نمونه ۱) نسبت به ممبرین مرجع بر حسب درصد دچار افت شدت نفوذ کمتری می‌شود .

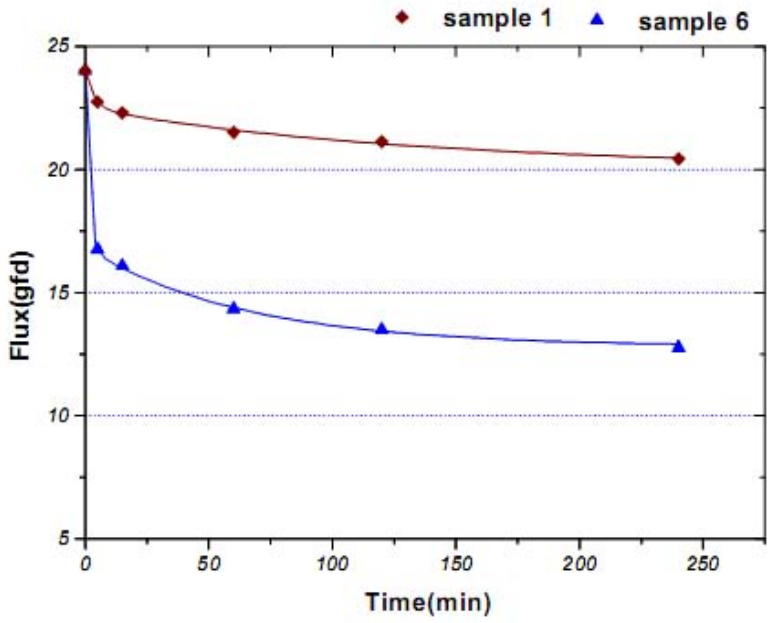


شکل ۲ : کاهش شدت نفوذ با مقادیر اولیه‌ی برابر برای ممبرین پوشش‌دار (۱) و بدون پوشش (۶)پس از قرار گرفتن در معرض DTAB با غلظت ۵۰ ppm (یک ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی)

جدول ۳ کاهش شدت نفوذ را برای نمونه‌های ۱ تا ۵ و نمونه ۶ (بدون پوشش) پس از قرار گرفتن در معرض ۵۰ ppm تریتون X-100 (ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی) نشان می‌دهد . شدت نفوذ در ممبرین های پوشش‌دار نسبت به ممبرین بدون پوشش ، بر حسب درصد کاهش کمتری دارد ، این امر نشان می‌دهد که پوشش‌های هیدروفیلی (آب دوست) مانع جذب ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی می‌شوند . شکل ۳ نشان می‌دهد که مانند شکل ۱ مقادیر اولیه‌ی برابری را برای شدت نفوذ جهت ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی ، در شروع آزمایش المان ، نشان می‌دهد . ممبرین پوشش‌دار (نمونه ۱) نسبت به ممبرین مرجع بر حسب درصد دچار افت شدت نفوذ کمتری می‌شود .

Sample	Flux (gfd)	Rejection (%)	Flux (gfd)	Rejection (%)	Flux decline(%)
	=> DI washing / 2000ppm NaCl addition		=> 50ppm Nonionic Surfactant addition		
1	27.9	98.6	23.9	99.1	14.3
2	25.6	98.6	20.6	99.3	19.7
3	21.8	98.2	17.8	99.0	18.4
4	19.0	98.4	15.0	99.4	20.9
5	22.9	98.3	18.5	99.3	19.4
6	55.6	98.1	34.6	99.1	37.8

جدول ۳ :شدت نفوذ و دفع نمک قبل و پس از قرار گرفتن در معرض ماده‌ی فعال سطحی در pH برابر با ۶/۵



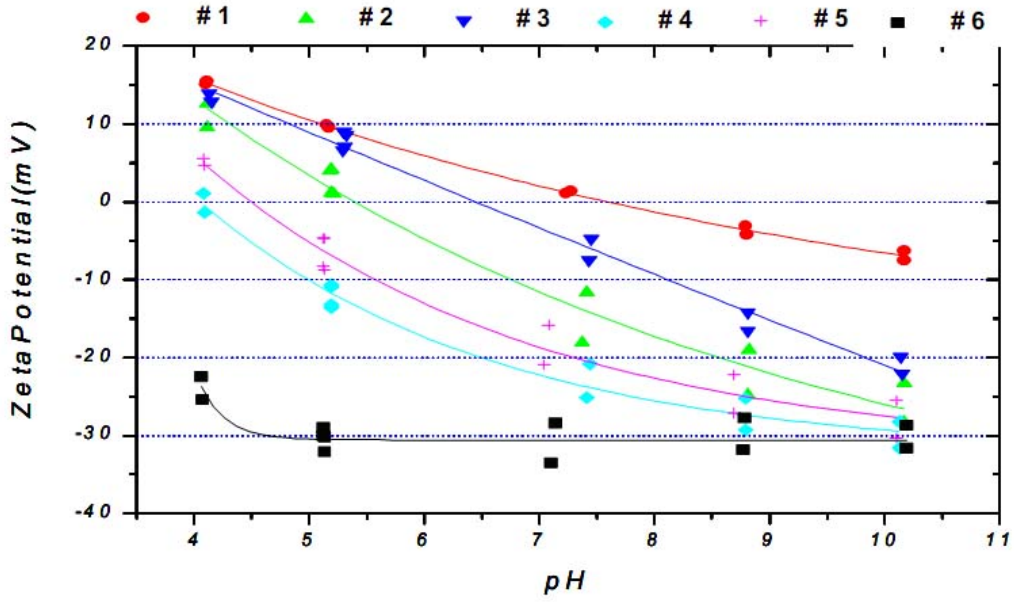
شکل ۳ : کاهش شدت نفوذ با مقادیر اولیه‌ی برابر برای ممبرین پوشش‌دار (۱) و بدون پوشش (۶)پس از قرار گرفتن در معرض تریتون X-100 با غلظت ۵۰ ppm (یک ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی)

بنابراین ، نتایج فوق اشاره به این مطلب می کنند که اختلاف کشش ناشی از نفوذ ، نمی‌تواند عامل چندان مؤثری در جرم‌گرفتگی ممبرین‌ها باشد . بلکه عوامل دیگری مانند جاذبه‌ی الکتریکی و فعل و انفعال متقابل هیدروفوبیک (آب دوستی) ، مؤثرتر به‌نظر می‌آیند .

جدول ۴ نشان می‌دهد که شدت نفوذ در نمونه‌های ۱ تا ۵ و نمونه‌ی ۶ (بدون پوشش) پس از این‌که در معرض ppm ۵۰ اسید هومیک در pH برابر با ۷/۵ قرار گرفتند ، کاهش می‌یابد . شدت نفوذ در ممبرین های پوشش‌دار ، بر حسب درصد ، نسبت به ممبرین مرجع ، کاهش کمتری دارد ، پس معلوم می‌شود که پوشش‌های هیدروفیلی (آب دوست) ، جذب اسید هومیک را کم می‌کنند .

Sample	Flux (gfd)	Rejection (%)	Flux (gfd)	Rejection (%)	Flux decline(%)
	=> DI washing / 2000ppm NaCl addition		=> 50ppm Humic acid addition		
1	30.7	98.7	29.7	99.3	3.4
2	24.3	98.5	23.2	99.1	4.4
3	24.3	98.6	22.6	99.3	6.7
4	17.4	98.7	16.5	99.0	5.4
5	23.8	98.7	22.3	99.0	6.5
6	50.8	98.0	40.1	98.6	21.0

جدول ۴ : شدت نفوذ و دفع نمک قبل و پس از قرار گرفتن در معرض اسید هومیک در pH برابر با ۷/۵



شکل ۴ : قابلیت zeta برای ممبرین های پوشش‌دار (۱ تا ۵) و بدون پوشش (۶)

شکل ۴ قابلیت zeta (بار سطحی) را برای این شش نمونه نشان می‌دهد . نمونه‌ی بدون پوشش (نمونه‌ی ۶) قابلیت منفی بیشتری را نشان می‌دهد . قابلیت zeta برای ممبرین های پوشش‌دار از نمونه‌ی ۱ (کمترین مقدار منفی) تا مقادیر منفی‌تر (نمونه‌های ۴ و ۵) کاهش می‌یابد . قابلیت zeta برای این شش ممبرین بطور نسبتاً خوبی با مقدار رسوب‌گذاری در ممبرین‌ها(درصد افت شدت نفوذ) ارتباط دارد ، این ارتباط در مورد DTAB (ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی) در جدول ۱ نشان داده شده است . به عبارت دیگر ، ممبرینی که بار منفی‌تری دارد ، به‌علت رسوب‌گذاری مواد فعال سطحی ، افت شدت نفوذ بیشتری پیدا می‌کند . این پدیده به‌علت جاذبه‌ی یون‌ها با بار الکتریکی مخالف روی می‌دهد . چنین حالتی به‌طور مشابه در مورد افت شدت نفوذ ممبرین ، در هنگام وجود شیر خشک اتفاق می‌افتد که این امر در جدول ۲ نشان داده شده است . به‌هرحال ، رسوب‌گذاری با شیر خشک نمی‌تواند به‌خوبی براساس جاذبه‌ی الکتریکی توجیه شود ، زیرا بیشتر پروتئین‌ها در pH برابر با ۷ دارای بار منفی هستند . پروتئین‌هایی که بار منفی دارند توسط ممبرین هایی که آن‌ها هم بار منفی دارند ، دفع می‌شوند ، همچنان‌که در نمونه‌ی ۶ (مرجع مقایسه) افت شدت نفوذ باید کمترین مقدار را داشته باشد ، امّا اطلاعات تجربی خلاف این مطلب را نشان می‌دهند .

بر اساس مطالعات بیشتر در مورد تاثیر بار الکتریکی شیر خشک بر روی رسوب‌گذاری در ممبرین ، معلوم شد که آزمایش رسوب‌گذاری در pH های متغیر انجام شده است ، با فرض این‌که پروتئین‌ها در pH های بالاتر دارای بار منفی بیشتری می‌شوند ، و این نتایج در جدول ۵ نشان داده شده است .

Type of membrane	Flux decline (%) at pH3	Flux decline (%) at pH5	Flux decline (%)at pH7	Flux decline (%)at pH9	Flux decline (%)at pH10
Sample 1	11.1	16.6	18.1	14.1	2.8
Sample 6	32.6	38.4	39.1	48.4	12.0

جدول ۵ : افت شدت نفوذ در pH های متغیر به‌علت رسوب‌گذاری توسط شیر خشک

همان‌طوری‌که نتایج فوق نشان می‌دهند ، هیچ‌گونه تمایل معکوسی در رسوب‌گذاری بین دو نمونه وجود ندارد ، و مشخص می‌گردد که در محدوده‌ی pH بین ۳ تا ۱۰ نقطه‌ای که دارای فشار الکتریکی مساوی باشد وجود ندارد . ممبرین بدون پوشش (نمونه ۶) اغلب بیشتر از ممبرین پوشش‌دار (نمونه ۱) در این محدوده از pH دچار رسوب گرفتگی می‌شود . تنها تغییری که در این نتایج دیده می‌شود ، کمتر شدن رسوب‌گذاری در pH برابر با ۱۰ نسبت به دیگر pH ها می‌باشد ، ولی روند کار یکسان است . امکان دارد در pH برابر با ۱۰ شیر خشک بیشتر حل شود در نتیجه تعداد توده‌های پروتئینی کمتر شده و بنابراین باعث شود که رسوب‌گذاری روی ممبرین کاهش یابد . بنابراین مشخص می‌شود که بار الکتریکی تاثیری در رسوب‌گذاری شیر خشک بر روی ممبرین ندارد .

با فرض این‌که در این‌جا فعل و انفعال متقابل هیدروفوبیک (آب دوستی) نقش مؤثر و قوی داشته باشد ، زوایای اتصال برای نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و در جدول ۶ نشان داده شده است . در این‌جا ابهامی وجود دارد که نشان می‌دهد رابطه‌ی خوبی بین زوایای اتصال و افت شدت نفوذ (رسوب‌گذاری)وجود ندارد . ممبرین بدون پوشش (نمونه ۶) دارای کمترین زاویه اتصال می‌باشد (احتمالاً آب دوست‌تر است) ، امّا باز هم رسوب‌گذاری بیشتری را نشان می‌دهد . حدس زده می‌شود که زاویه‌ی اتصال نمایش‌گر خوبی جهت خاصیت آب دوستی نباشد . به‌هرحال ، به‌جز نمونه ۶ (مرجع مقایسه) ، نمونه‌های ۲ تا ۵ آب دوست‌تر بوده و بنابراین افت نفوذ بیشتری را نسبت به نمونه‌ی ۱ تجربه کرده‌اند ، همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است . در این‌جا خاصیت آب دوستی در رسوب‌گذاری تا مقدار معینی مؤثر می‌باشد . زبری سطح برای نشان دادن روند رسوب‌گذاری توضیحی ارائه نمی‌کند ، زیرا زبری سطح در نمونه‌های ۱ تا ۶ تفاوت زیادی ندارد .

همان‌طور که در بالا بیان شد ، بر اساس اطلاعات مربوط به رسوب‌گذاری در pH برابر با ۱۰ مشخص می‌شود که در محلول شیر خشک توده‌های پروتئینی وجود داشته و اگر گروه‌های کربوکسیل با داشتن بار منفی در داخل این توده‌ها گرفتار شوند ، توده‌های پروتئینی ممکن است دارای مقدار بار مثبت شوند . چنین توده‌هایی با بار الکتریکی مثبت می‌توانند بر روی نمونه‌ی ۶ بیش از نمونه‌ی ۱ رسوب کنند . قابلیت‌های جاری در مورد محلول شیر خشک برای بررسی این فرضیه باید اندازه‌گیری شوند .

Sample	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Contact angle	45.1	63.4	65.3	60.9	61.2	44.1

جدول ۶ : زاویه‌ی اتصال برای ممبرین های پوشش‌دار (۱ تا ۵) و بدون پوشش (۶)

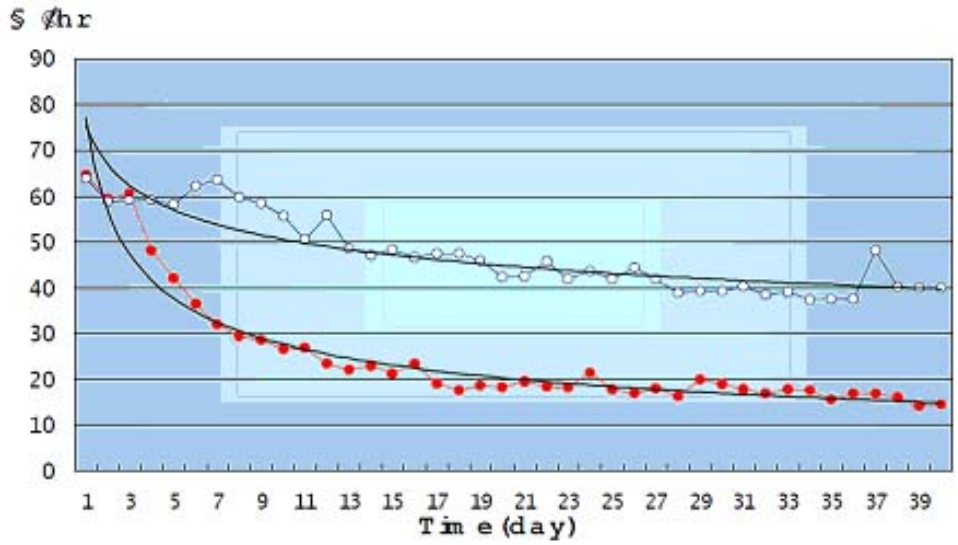
روند رسوب‌گذاری برای نمونه‌های ۱ تا ۶ توسط تریتون X-100 (ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی) تقریباً با خاصیت آب دوستی نمونه‌ها (زوایای اتصال) به جز نمونه‌ی ۶ ، ارتباط دارد که در جدول ۳ نشان داده شده است . هنوز توضیحی در مورد این مطلب ارائه نشده است که چرا نمونه‌ی ۶ با داشتن کمترین زاویه‌ی اتصال دچار بیشترین مقدار رسوب‌گذاری شده است .

اسید هومیک نوعی ماده‌ی آلی طبیعی (NOM) موجود در آب طبیعی است که از طریق تجزیه‌ی گیاهان به‌دست می‌آید . NOM باعث بروز برخی مشکلات در خالص‌سازی آب‌های موجود در منابع طبیعی می‌شود مانند مشکل رسوب‌گذاری ممبرین . اسید هومیک بر نمونه‌های ۱ تا ۵ بسیار آهسته و بر روی نمونه‌ی ۶ (بدون پوشش) قدری بیشتر رسوب می‌کند . بخش اعظمی از اسید هومیک ساخته شده در Aldrich دارای وزن مولکولی کم است ، که نسبت به مولکول‌هایی با وزن زیاد ، رسوب کمتری را ایجاد می‌کند . به‌هرحال ، روند رسوب‌گذاری با خاصیت آب دوستی (هیدروفوبیسیتی)

نمونه‌های ۱ تا ۵ ، به‌جز نمونه‌ی ۶ ، همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است ، ارتباط دارد . همان‌طوری‌که در این مقاله بیان شد ، چنان‌چه اسید هومیک با بار منفی و سطح ممبرین با بار الکتریکی منفی یکدیگر را دفع کنند ، نمونه‌های ۴ و ۵ دارای کمترین مقدار رسوب در بین نمونه‌های ۱ تا ۵ خواهند بود . امّا این اطلاعات نشان می‌دهند که چنین نمی‌باشد . بنابراین در مورد این نوع از اسید هومیک ، فعل و انفعال متقابل هیدروفوبیک (آب دوستی) بین اسید هومیک و ممبرین‌ها ممکن است نسبت به دافعه‌ی الکتریکی بر روی رسوب‌گذاری تأثیر بیشتری داشته باشد .

بین جذب متیلن‌بلو (یک رنگ کاتیونی) و قابلیت zeta رابطه‌ی خوبی مشاهده شده است . شدت جذب رنگ ، نوعی افزایش خطی را در بار الکتریکی منفی ممبرین نشان می‌دهد (تصویر در این‌جا نشان داده نشده است). همچنین مقدار رسوب گذاری DTAB (یک ماده‌ی فعال سطحی) بر روی ممبرین ، بر حسب بار الکتریکی منفی سطح ممبرین در جدول ۱ نشان داده شده است . نتایج نشان می‌دهند که رسوب‌گذاری بر روی ممبرین به‌علت جذب الکتریکی می‌تواند طبقه‌بندی بهتری نسبت به فعل و انفعال متقابل آب دوستی یا رسوب کلوئیدی باشد .

ممبرین های مقاوم در برابر رسوب‌گذاری مانند نمونه‌ی ۱ به‌طور تجاری ساخته شده و آزمایش‌های طولانی مدتی را گذرانده‌اند . شکل ۵ افت شدت نفوذ را در مدت زمان بالغ بر ۴۰ روز ، در المان‌های 8040 برای ممبرین های مقاوم در برابر خوردگی و ممبرین های معمولی که در معرض پساب کارخانه‌ی هیوندایی موتور قرار گرفته بودند ، نشان می‌دهد . همان‌طورکه منایج نشان می‌دهند ، افت شدت نفوذ در ممبرین معمولی نسبت به ممبرین مقاوم در برابر رسوب‌گذاری شیب بیشتری دارد ، که پس از گذشت ۴۰ روز شدت نفوذ در این ممبرین نسبت به ممبرین معمولی بسیار بالاتر می‌ماند .



شکل ۵ : مطالعه‌ی مقایسه‌ای بر روی افت شدت نفوذ المان‌های 8040 برای ممبرین های مقاوم در برابر رسوب‌گذاری و ممبرین های معمولی ، بالغ بر ۴۰ روز در شرکت هیوندایی موتور .

شکل ۶ نمودار روزانه‌ی شدت جریان آب تصفیه شده و اختلاف فشار را در برابر هم برای المان‌های 8040 با ممبرین های مقاوم در برابر رسوب‌گذاری ، موجود در سیستم تصفیه پساب شرکت سامسونگ الکترونیک ، به‌مدت ۵ ماه نشان می‌دهد . نتایج نشان می‌دهند که شدت جریان آب تصفیه شده به‌خوبی پایدار مانده و اختلاف فشار نیز مطابق با طراحی سیستم می‌باشد ، بنابراین به تعداد دفعات شستشوی کمتری نیاز است .

شکل ۶ : شدت جریان آب تصفیه شده برای سیستم تجاری با استفاده از ممبرین مقاوم در برابر خوردگی و اختلاف فشار سیستم به‌مدت ۵ ماه در شرکت سامسونگ الکترونیک .

نتیجه‌گیری

ممبرین های اسمز معکوس با شدت نفوذ بالا ، ساخته شده توسط شرکت کره‌ای صنایع Saehan با استفاده از منومرهای هیدروفیلی (آب دوست) پس از واکنش پلیمری کردن

با اتصال طولی ، پوشش داده می‌شوند . وقتی‌که آب خوراک به‌ترتیب حاوی ۵۰ ppm دودسیل‌متیل‌آمونیوم بروماید (DTAB) (یک ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی) ، ۳۰ ppm شیر خشک ، ۵۰ ppm تریتون X-100 (یک ماده‌ی فعال سطحی غیر یونی) و ۵۰ ppm اسید هومیک باشد ، ممبرین های پوشش داده شده در مقایسه با ممبرین بدون پوشش (مرجع مقایسه) در برابر رسوب‌گذاری مقاومت نشان می‌دهند . مقدار رسوب‌گذاری ممبرین (افت شدت نفوذ) توسط ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی در pH برابر با ۶/۵ ، نشان می‌دهد که رابطه‌ای خطی با قابلیت zeta (بار الکتریکی سطحی ممبرین) وجود دارد . همچنین مقدار جذب متیلن‌بلو (یک ماده‌ی رنگی کاتیونی) بر روی ممبرین‌ها وابسته به بار الکتریکی سطحی ممبرین می‌باشد . این دو نتیجه نشان می‌دهند که جاذبه‌ی الکتریکی بین رسوبات و ممبرین با بار الکتریکی مخالف ، ساز و کار راحتی جهت طبقه‌بندی رسوب‌گذاری در ممبرین است .

تصور می‌شود که افت شدت نفوذ در ممبرین توسط ماده‌ی فعال سطحی کاتیونی در pH برابر با ۶/۵ به‌علت فعل و انفعال متقابل هیدروفوبیک (آب دوستی) بین ممبرین و ماده‌ی فعال سطحی باشد . نتایج تجربی نشان می‌دهند که ممبرین هایی که دارای زاویه‌ی اتصال زیادتری باشند ، در ارتباط با ماده‌ی فعال سطحی ، افت شدت نفوذ بیشتری خواهند داشت . ممبرین مرجع بدون پوشش هیدروفیلی (آب دوست) عملاً کمترین زاویه‌ی اتصال را دارد ، امّا در ارتباط با ماده‌ی فعال سطحی بیشترین افت شدت نفوذ را تحمل می‌کند . نمی‌توان این مطلب را به‌خوبی توضیح داد . رسوب‌گذاری ممبرین توسط اسید هومیک در pH برابر با ۷/۵ که در آن نسبت به دیگر مواد رسوب‌گذار ، ممبرین دچار کمترین رسوب می‌شود ، بیشتر متأثر از فعل و انفعال متقابل هیدروفیبیکی (آب دوستی) بوده تا دافعه‌ی الکتریکی بین اسید هومیک با بار الکتریکی منفی و ممبرین‌ها ، زیرا

ممبرین مرجع با بیشترین بار الکتریکی منفی دچار بیشترین مقدار رسوب‌گذاری بوده است .

مقایسه رسوب‌گذاری در ممبرین توسط شیر خشک نسبت به دیگر رسوب‌گذارها واقعاً به‌سختی انجام می‌شود . ساز و کار رسوب‌گذاری می‌تواند مختلط باشد . خاصیت آب دوستی و رسوب‌گذاری کلوئیدی ممکن است به‌مقدار کمی پاسخ‌گوی علت رسوب‌گذاری باشند . اگر شیر خشک بار الکتریکی مثبت داشته باشد ، رسوب‌گذاری می‌تواند به‌طور خطی با بار منفی موجود در سطح ممبرین مرتبط باشد .

مراجع

1. E. M Vrijenhoek, S. Hong and M. Elimelech, Journal of Membrane Science, 188, 115-128 (2001).

2. N. Her, G. Amy and C. Jarusutthirak, Desalination, 132, 143-160 (2000)

3. M. Elimelech, and A.E.Childress, Water Treatment Technology Program Report No.10, U.S.

Department of The Interior, Bureau of Reclamation(1996).

4. S. Hong and M. Elimelech, Journal of Membrane Science, 132, 159-181 (1997).

5. J. Cho, G. Amy, and J. Pellegrino, Journal of Membrane Science, 164, 89-110 (2000).